

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Možnosti snížení spotřeby stlačeného vzduchu při
tlakovém čištění výrobků**

**Possibilities of Reduction of Compressed Air
Consumption at Pressure Cleaning of Products**

Student:

Petr Holíš

Vedoucí práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Holíš**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení**
Téma: **Možnosti snížení spotřeby stlačeného vzduchu při tlakovém čištění výrobků**
Possibilities of Reduction of Compressed Air Consumption at Pressure Cleaning of Products
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární rešerši z oblasti ofukování a čištění výrobků pomocí trysek a vzduchových nožů.
- 2) Popište vybrané výrobní zařízení a stávající stav systému pro vyfukování třísek při obrábění.
- 3) Proveďte měření spotřeby vzduchu ofuků.
- 4) Porovnejte spotřebu vzduchu stávajícího způsobu ofuku se spotřebou při použití zesilovací trysky.
- 5) Navrhněte opatření pro snížení spotřeby vzduchu a vypočítejte možné úspory.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
Kolektiv autorů: *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno, SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
Firemní podklady a katalogy firem Festo, SMC, MOS technik, Hennlich a další.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

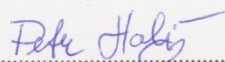
V Ostravě 16.5.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16. 5. 2016


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Holíš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dělnická 224/16, 742 35 Odry

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za odborné vedení, věnovaný čas a cenné rady, které byly nezbytnými podklady při vypracování mé bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HOLIŠ, P. *Možnosti snížení spotřeby stlačeného vzduchu při tlakovém čištění výrobků: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 41 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi snížení spotřeby stlačeného vzduchu při tlakovém čištění výrobků. V první části jsem se zaměřil na různé typy vzduchových nožů a trysek, které se používají ke snížení spotřeby vzduchu. V další části jsem se nejprve zaměřil na měření ve firmě, kde jsem popsal současný stav stroje, a také na popis měření, které jsem provedl. Poté jsem se zabýval měřením v laboratoři, kdy jsem si nasimuloval obvod a naměřené hodnoty zapisoval a vyhodnocoval. Byly také popsány přístroje, které byly při obou měřeních použity. V poslední části této práce jsem vypočítal spotřebu stlačeného vzduchu jak při současném stavu, tak při alternativních možnostech. Tyto hodnoty jsem porovnal a zobrazil pomocí grafu. Vypočítal jsem také úspory, kterých lze dosáhnout, pokud bude využita některá z alternativních možností.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HOLIŠ, P. *Possibilities of Reduction of Compressed Air Consumption at Pressure Cleaning of Products: bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2016, 41 p. Thesis head: Dvořák, L.

The bachelor thesis deals with possibilities of reduction of compressed air consumption at pressure cleaning of products. In the first part I focused on different types of air knives and nozzles, which are used to reduce of air consumption. The second part focuses on measurements at the company, including the machine's current status as well as a description of which measurements I have performed. Next is summary of my laboratory measurements, including a simulated circuit and the measures values that were recorded and evaluated. There is also description of the measurement tools utilized. The last of this thesis focuses on my calculations of present state compressed air consumption as well as alternate possibilities. The alternate possibilities section also includes the calculations of any cost savings associated with each possibility.

Obsah

1. Úvod	3
2. Trysky a vzduchové nože	4
2.1 Ionizační vzduchová tryska	6
2.2 Vícekanálové vzduchové trysky	7
2.3 Regulační zesilovací tryska	8
2.4 Vzduchové nože	10
2.5 Příklady dalších aplikací trysek	12
2.5.1 Koncové trysky ECRTC	12
2.5.2 Vysokotlaké koncové trysky	12
2.5.3 Koncové trysky robotické	13
2.5.4 Trysky FogJet	13
2.5.5 Trysky z materiálu kynar	14
3. Měření spotřeby stlačeného vzduchu na výrobním zařízení	15
3.1 Popis zařízení a problému	15
3.2 Realizace měření	17
4. Měření v laboratoři	20
5. Porovnání spotřeby vzduchu a výpočet úspor	30
5.1 Výpočet spotřeby vzduchu při současném stavu	30
5.2 Výpočet spotřeby vzduchu se zesilovací tryskou a polovičním průtokem	36
6. Závěr	39
7. Použité zdroje	40

Seznam použitých značek a symbolů

D	průměr	[mm]
DN	jmenovitá světlost	[mm]
H	hladina zvuku	[dB]
I	proud	[mA, A]
L	délka	[μm , mm, m]
N	náklady	[Kč]
Q	průtok	[$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, l/min]
U	napětí	[V]
V	objem	[dm_N^3 , Nl, Nm^3]
n	cena	[Kč]
p	tlak	[Pa, MPa]
r	poloměr	[mm]
t	čas	[s]

1. Úvod

Ve své bakalářské práci se budu zabývat možnostmi snížení spotřeby stlačeného vzduchu při tlakovém čištění výrobků. Stlačený vzduch je nezbytnou součástí téměř všech odvětví průmyslu. Je využíván jako pohon pneumatických strojů převážně v automatizované výrobě, kde pohání například lisy, jednotlivé části výrobních linek vrtačky apod. Velmi často je využíván pro stroje, které dopravují nebo přemisťují jednotlivé výrobky k dalšímu zpracování, kromě toho se používá k dalším různým činnostem jako například ofukování, sušení, čištění, chlazení, nanášení barev a další.

Stlačený vzduch je poměrně drahá záležitost, a proto je třeba jej co nejefektivněji využívat a snažit se snižovat spotřebu. Při čištění a chlazení se dá spotřeba redukovat vhodně použitými prostředky, jako jsou trysky a vzduchové nože, kterých je dneska spousta druhů vyznačujících se různými vlastnostmi. Trysky a vzduchové nože se vyrábějí v rozdílných provedeních, které se liší svým tvarem, materiálem z něhož jsou vyrobeny, spotřebou stlačeného vzduchu, pracovním tlakem, výkonem, resp. množstvím vzduchu, které jsou schopny vyprodukovat, a pak se liší samozřejmě cenou. Materiálem je většinou ocel nebo hliník, ale mohou být také z plastu. Jejich využití je možné téměř ve všech odvětvích průmyslu – strojírenský, potravinářský, elektrotechnický, automobilový, plastikářský a další. Vybral jsem několik typů trysek a vzduchových nožů, které zde představím.

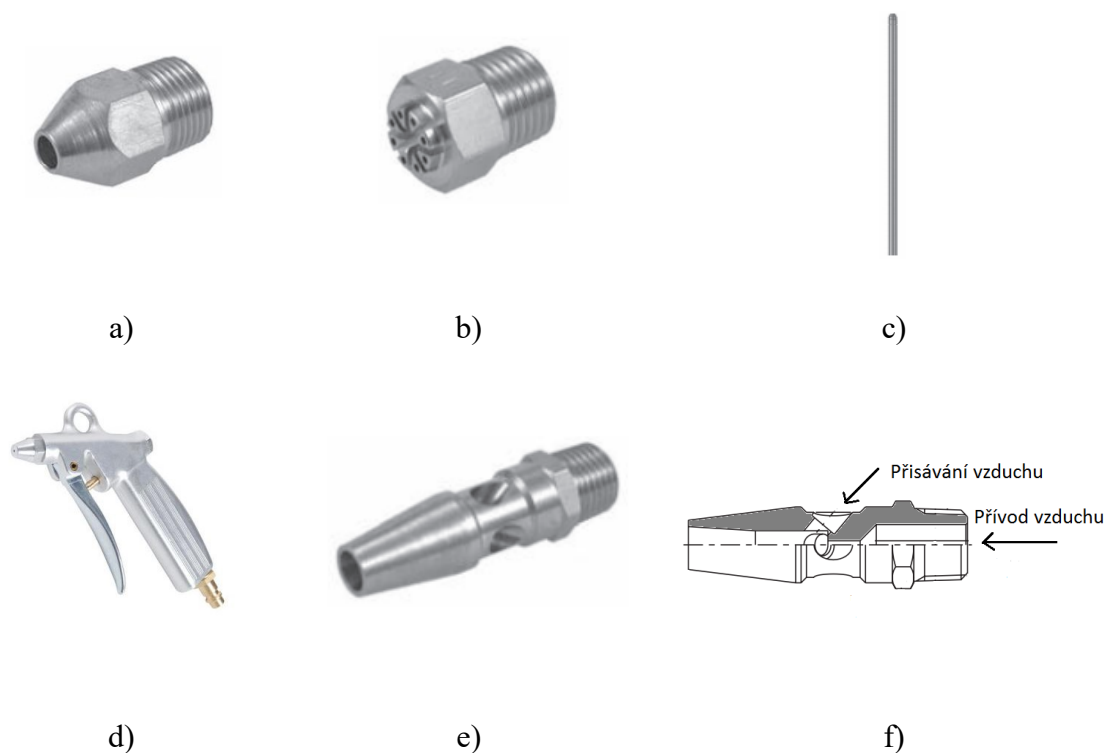
V další části práce se budu věnovat měření spotřeby vzduchu při tlakovém čištění na výrobní lince, porovnání stávajícího způsobu ofukování s alternativním způsobem ofukování pomocí zesilovací trysky. Dále pak budou vyčísleny náklady na provoz současného způsobu čištění a navrženy možné úpravy, které povedou k úsporám.

2. Trysky a vzduchové nože

Jsou různé typy trysek, které se používají jako nástavce na ofukovací pistole nebo samostatně jako koncovka z důvodu lepší manipulace, dostupnosti do těžko přístupných míst, z důvodu úspory vzduchu, minimalizace hluku a další.

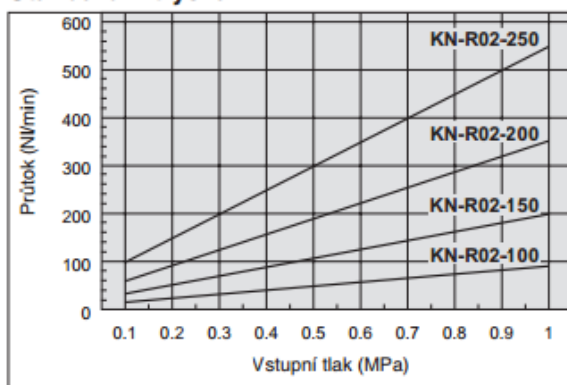
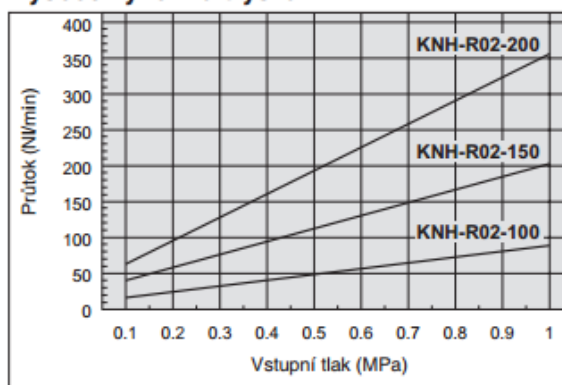
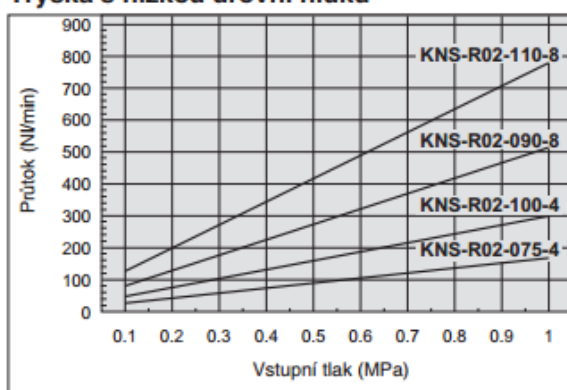
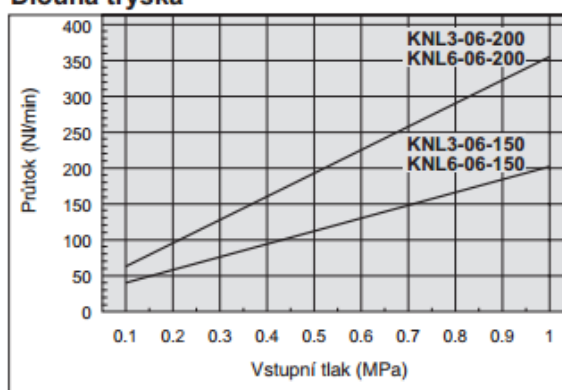
Vzduchové trysky a nože pracují na principu, kdy formují vzduch buď do bodového, nebo plochého paprsku o vysoké rychlosti a silné nárazové síle. Tyto paprsky překonávají svou účinností otevřenou trubku, čímž dosahují spolehlivého výkonu a značným způsobem zlepšují výrobní proces. Při práci s tlakovým vzduchem vzniká často vysokofrekvenční pískavý zvuk, který škodí sluchu. Tento zvuk vzniká při turbulentích při výstupu vzduchu, což znamená, že čím lepší a silnější paprsek je, tím vyšší je hladina zvuku. Produkce hluku je jednou z největších zátěží na pracovišti, a proto je třeba tento hluk eliminovat. K tomu slouží různé speciální trysky, které svou konstrukcí snižují hladinu zvuku.

Jedním z prvků pro používání stlačeného vzduchu jsou vzduchové ofukovací pistole, na něž jsou šroubovány základní typy trysek. Vzduchové pistole jsou vyráběny z plastu, hliníku nebo oceli. Základním typem trysek, které se šroubují na ofukovací pistole, může být například standardní tryska se směrovým paprskovým proudem vzduchu, která se používá pro vyfukování nečistot a třísek. Vysoce výkonná tryska je také jedním z základních typů. Funguje tak, že bočním otvorem je přisáván okolní vzduch, který zvětšuje výkonnost na výstupu, případně i vstupu, jedná-li se o odsávání. Princip této trysky bude dále popsán v kapitole 2.3. Další tryskou je tryska s nízkou úrovní hluku, u které, jak už z názvu vyplývá, je nízká hlučnost, silný a přesný paprsek vzduchu. Používá se pro sušení a rovněž pro vyfukování. Pak to může být dlouhá tryska, která může být typu přímé trubky nebo úhlové, což je zaoblená tryska, která slouží pro těžko přístupná místa. Materiál těchto trysek může být hliník, mosaz, nebo pochromovaný zinkový odlitek.



Obr. 2.1 a) standardní tryska, b) tryska s nízkou úrovní hluku, c) dlouhá tryska, d) ofukovací pistole, e) velmi výkonná tryska, f) řez velmi výkonné trysky [1]

Výše uvedené základní typy trysek se liší vnitřním průměrem, z čehož se odvíjí průtokové charakteristiky. Na obrázku 2.2 můžeme vidět závislost průtoku jednotlivých trysek a průměrů na vstupním tlaku. Je zřejmé, že průtok závisí na průměru a tlaku, čím vyšší je vnitřní průměr trysky, tím vyššího průtoku můžeme dosáhnout.

Standardní tryska**Vysoce výkonná tryska****Tryska s nízkou úrovní hluku****Dlouhá tryska**

Obr. 2.2 Průtokové charakteristiky trysek [1]

2.1 Ionizační vzduchová tryska

Ionizační vzduchové trysky jsou trysky, které jsou napájeny vysokonapětovým zdrojem, přičemž vytváří ionizovaný vzduchový proud o vysoké rychlosti. Slouží k čištění a k neutralizaci elektrostaticky nabitých předmětů. Neutralizace probíhá tak, že ve vzduchovém proudu jsou obsaženy kladné i záporné ionty a jelikož se opačné náboje přitahují, dojde k tomu, že nabitý materiál začne přitahovat opačně orientované ionty, čímž dochází k neutralizaci. Emitační hrot, který generuje napětí, je s vysokým napětím spojen buď přímo, proud je však omezen na bezpečnou hodnotu a hrot je umístěn tak, že se jej nedá dotknout, to je například tryska typu H firmy Simco nebo je napětí s hrotem spojeno kapacitně, takže při dotyku hrotu osoba nepocítí elektrický výboj, tohle je například tryska typu HS rovněž od firmy Simco. Tyto informace jsem našel v odkaze [2].



a)

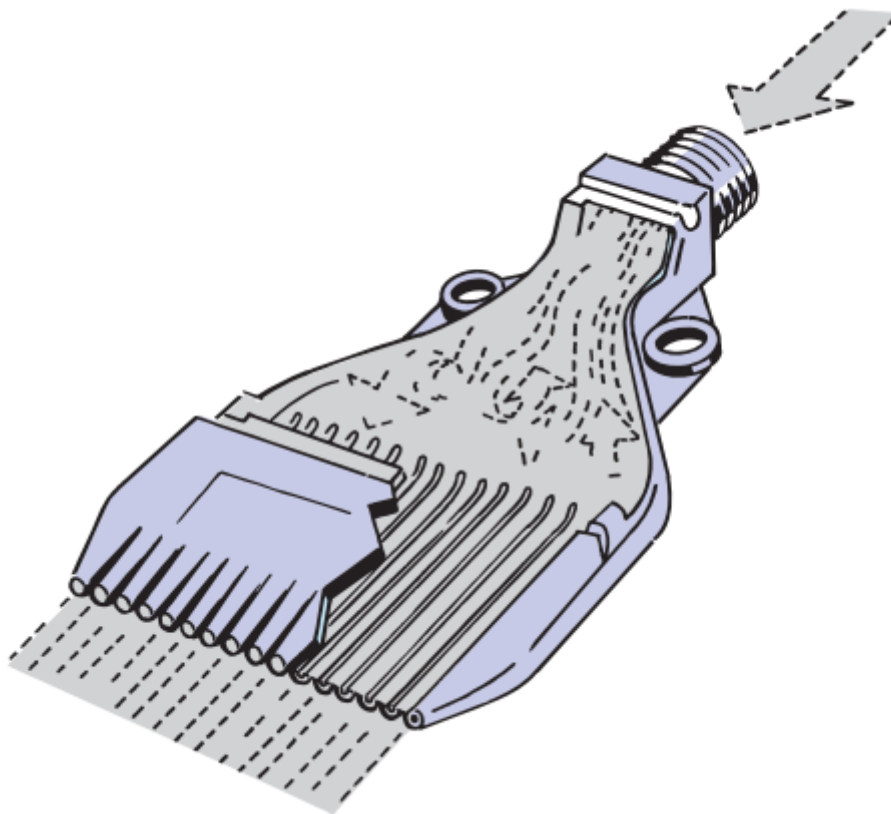


b)

Obr. 2.1.1 a) Ionizační tryska typu H, b) Ionizační tryska typu HS [2]

2.2 Vícekanálové vzduchové trysky

Princip vícekanálových vzduchových trysek spočívá v tom, že proudy, které vstupují do trysek, jsou rozděleny do několika jednotlivých paprsků, tím se dosahuje rovnoměrného a silného sdružení paprsků. Jejich výhodou, oproti jednootvorovým tryškám, je značné snížení hladiny zvuku paprsku při jeho síle, až od 12 dB, spotřebují méně vzduchu, mají lepší ofukovací účinnost, pracují s nižším pracovním tlakem oproti klasickým tryškám, a to při stejné síle a náklady na jejich použití jsou nízké. Vyrábějí se v plastovém i kovovém provedení.

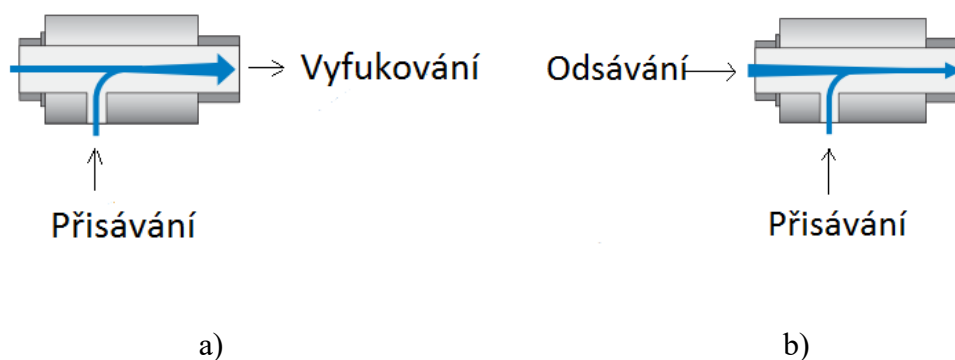


Obr. 2.2.1 Vícekanálová vzduchová tryska [3]

2.3 Regulační zesilovací tryska

Regulační zesilovací tryska je tryska, která v podstatě funguje na principu Venturiho trubice. Venturiho trubice se skládá z hladkostěnné trubice se zúženým průřezem, např. pomocí dvou proti sobě orientovaných kuželů, které jsou v místě se stejným průměrem spojené. Na tomto místě je i místo odběru média. Přes trysku protéká plynné nebo kapalné médium, tím je v nejužším místě trubek maximální náporový (dynamický) tlak a minimální statický tlak. Rychlost proudění závisí na průměru zúžené části, protože všude protéká stejné množství média. Současně klesá tlak v místě odběru, které je zúženo. Tím se vytvoří vakuum, které se pak využívá na nasávání média [4]. Jednoduše řečeno, zesilovací tryska funguje tak, že poměrně malým zdrojem vzduchu, který tryskou protéká, na sebe bočním otvorem naváže velký objem okolního vzduchu a tím produkuje velký objem a vysokou rychlost proudění. Na výstupu dokáže produkovat až čtyřikrát větší proud než je na vstupu. Mezi hlavní výhody této trysky patří úspora vzduchu, snižuje spotřebu až o 70%. Nevyžaduje údržbu, jelikož v trysce nejsou pohyblivé části, má tichý chod, je jednoduchá a snadno ovladatelná. Používá se tedy k zesílení ofukování, ale také k odsávání. A při

odsávání je díky bočnímu otvoru možné zvýšit proud na sání až třikrát. Existují speciální zesilovací trysky od firmy Exair [5] pro zvláštní použití, které mají drážkový vstup, to je např. vysokoteplotní zesilovací tryska, pro přenos horkého vzduchu, kde jsou kladeny požadavky na stabilní teplotu v peci nebo sušičce. Tyto speciální trysky se zhotovují také z nerezové oceli, jež slouží pro odsávání horkých plynů z pece. V oblasti odsávání se dají tyto trysky použít pro odvětrávání kouře při svařování, odvodu vlhkosti z nádrže, odsávání nečistot z obráběcího stroje apod. Pro ofukování mají využití sušení vlhkých součástí, chlazení horkých součástí, dodávání tepla a další.



Obr. 2.3.1 Princip regulační trysky a) při ofukování, b) při odsávání [5]



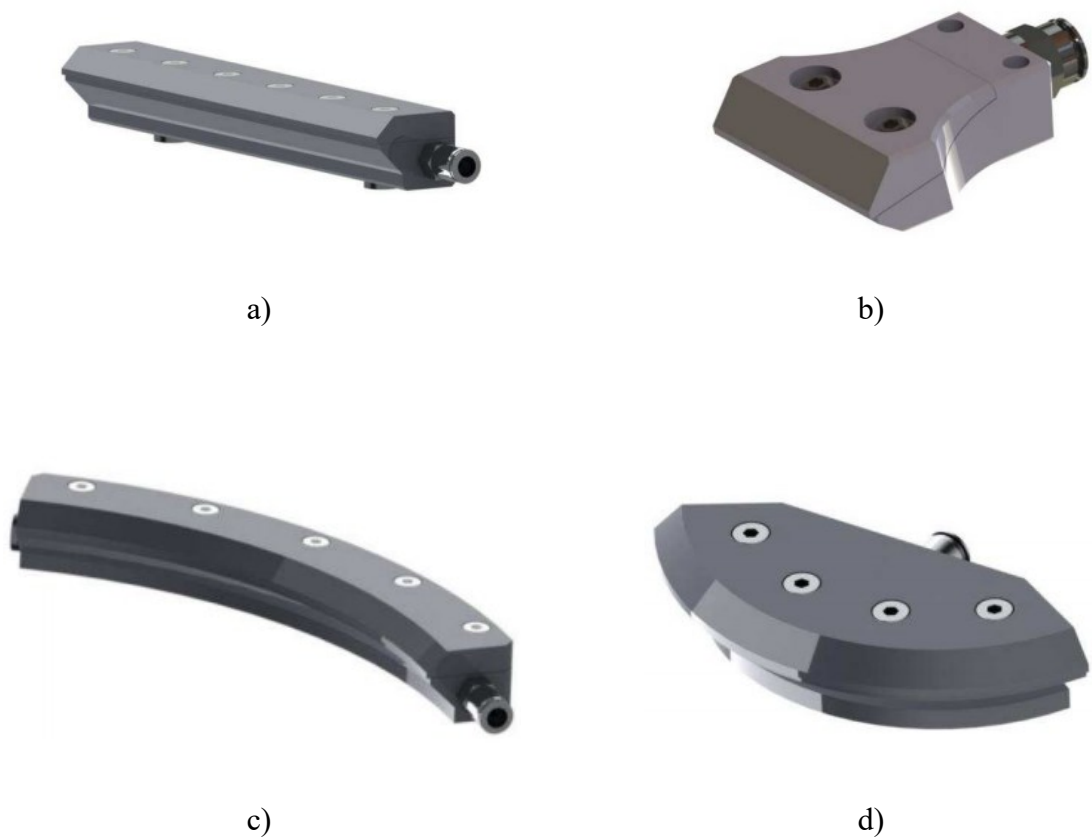
Obr. 2.3.2 Regulační zesilovací tryska [6]

Technické parametry [6]:

Médium	tlakový vzduch filtrovaný 25 µm
Pracovní tlak	max 0,8 MPa
Spotřeba tl. vzduchu (0,4MPa)	112 až 285 Nl/min
Poměr zesílení	až 25:1
Výstupní otvor	ø 9,5 mm
Pneumatické připojení	G 1/8 “; 1 pozice
Materiál	slitina hliníku / nerezová ocel

2.4 Vzduchové nože

Níže uvedené vzduchové nože jsou rovněž produktem firmy MOStechnik. Jsou to poněkud zvláštní typy vzduchových nožů kvůli své konstrukci, která umožňuje velmi úzký, rychlý a silný proud výstupního vzduchu. Vzduchové nože fungují také jako objemové zesilovače, což znamená, že vlivem tvaru nože dochází při vyfukování k nasávání okolního vzduchu a tím dochází k zvyšování vzdušného proudu, což také zajišťuje jeho větší dosah. Mezi významné výhody vzduchových nožů patří finanční úspora díky nízké spotřebě vzduchu, která je třetinová oproti jiným ofukům, což může být velmi užitečné tam, kde je nepřetržitý provoz takovýchto vzduchových trysek. U těchto nožů se regulací tloušťky štěrbin snadno reguluje velikost průtoku. Jednotlivé nože se liší materiálem, kterým může být buď slitina hliníku, nerezová ocel, případně také plast. Dále se liší také tvarem štěrbin z nich vychází proud vzduchu, což může být přímý nůž, dýza, nůž tvaru „C“ nebo „D“, které jsou jednostranné, což znamená, že vzduchový proud vychází pouze z jedné strany, pak nože kruhového tvaru nebo také přímý nůž dvoustranný, kde vzduchový proud vychází z obou stran. Délka nože a tedy délka vzduchového proudu se zhotovuje na zakázku, čili dle požadavků zákazníka. Maximální délka je pro každý typ jiná. Tloušťka štěrbin se pohybuje v řádech setin až desetin milimetru.



Obr. 2.4.1 Vzduchové nože a) přímý nůž, b) dýza, c) nůž typu „C“, d) nůž typu „D“ [6]

Technické parametry těchto vzduchových nožů se prakticky neliší, jediný rozdíl je v materiálu, z něhož jsou vyrobeny.

Technické parametry [6]:

Médium	tlakový vzduch filtrovaný 25 μm
Pracovní tlak	max 0,8 MPa
Pneumatické připojení	G 1/4"; 2 pozice
Materiál	slitina hliníku / nerezová ocel
Povrchová úprava	bez povrchové úpravy

2.5 Příklady dalších aplikací trysek

Tyto trysky již neslouží k čištění, ofukování či podobným účelům, ale používají se např. k nanášení barev, řezání a podobným aplikacím.

2.5.1 Koncové trysky ECRTC

Tento typ trysek se používá pro aplikaci materiálů, které mají vyšší viskozitu, což jsou například lepidla, barvy s vysokým obsahem pigmentu nebo izolační materiály. Jsou konstruovány tak, aby byly odolné vůči ucpání těmito materiály. Pracuje při tlaku až 27,5 MPa. Tryska je vyrobena z nerezové oceli a má dlouhou životnost, jelikož je osazena karbidem wolframu, který má vysokou tvrdost a je schopen pracovat při vyšších teplotách.



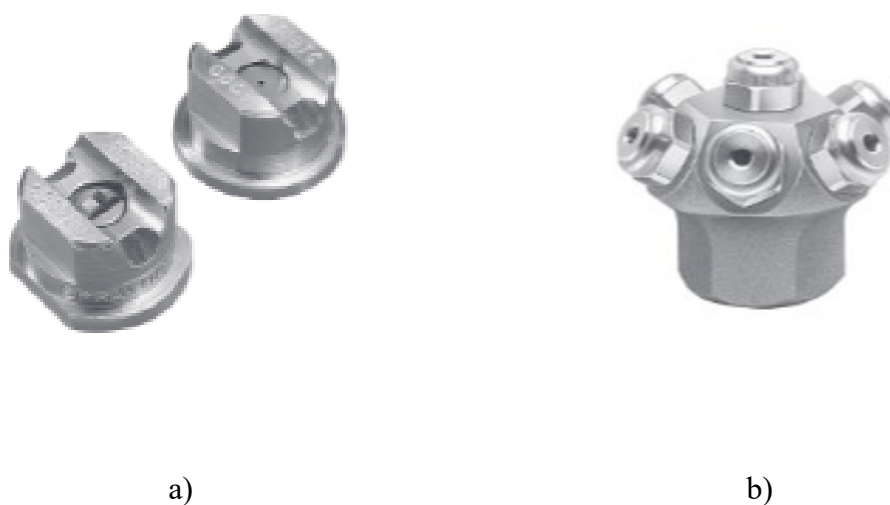
Obr. 2.5.1.1 a) koncová tryska ECRTC, b) vysokotlaká koncová tryska [7]

2.5.2 Vysokotlaké koncové trysky

Tyto trysky jsou vyrobeny z nerezové oceli, dosahují dlouhé životnosti díky safírové tryskové vložce a polyamidové podložce, jimiž jsou osazeny. Jsou vhodné pro řezání nárazníků, skel, dveřních panelů, vnitřních potahů a dalších, jelikož plný proud a mohou pracovat při tlaku až 410 MPa. Vysokotlaké koncové trysky se používají pro vodu.

2.5.3 Koncové trysky robotické

Výroba těchto trysek je podrobena přísným normám a také musí projít těžkým testováním předtím, než jdou do provozu. Jsou vyrobeny rovněž z nerezové oceli jako vysokotlaké koncové trysky. Dlouhodobá životnost a odolnost vůči otěru je zajištěna tryskovými vložkami z karbidu wolframu, nimž je tryska osazena stejně jako koncová tryska ECRTC. Pracují při tlaku 27,5 MPa a používají se pro rozstřikování zvukově izolačních materiálů, ochranných vrstev proti nárazům, lepidel apod.



Obr. 2.5.3.1 a) koncová tryska robotická, b) tryska FogJet [7]

2.5.4 Trysky FogJet

Trysky FogJet jsou trysky, jejichž médiem je voda, slouží k protipožární ochraně téměř všude a to jak například ve strojovnách, kotelnách, na ropných plošinách, námořních lodích, čili průmyslu jako takovém, tak i ve většině veřejných budov nebo v domácnostech. Tyto trysky vytváří vodní mlhu, což je vytvoření velmi malých kapiček vody ve tvaru kužele, čímž zabírají velkou plochu a pohlcují teplo, což vede k redukování ohně. Zároveň se při odpařování vody zvětšuje její objem, tedy ubývá kyslík, který je potřebný pro oheň. Trysky se vyrábí v různých velikostech průtoku.

2.5.5 Trysky z materiálu kynar

Tento typ trysky se používá ve velmi čistých výrobních prostředích, což může být třeba v elektronice, pro výrobu desek tištěných spojů, integrovaných obvodů a dalších zařízení. Vyrábí se z kynaru, což je termoplast, v němž nejsou obsažena barviva, která by mohla zamořit rozstřík. Kynar je odolný vůči korozi a působení chemikálií. Tryska se používá pro rozstřikování kyselinových nebo chloridových leptadel. Rozstřík je v provedení plochého vějíře nebo plného kužele.



Obr. 2.5.5.1 Trysky z materiálu kynar [7]

3. Měření spotřeby stlačeného vzduchu na výrobním zařízení

3.1 Popis zařízení a problému

Společnost ITT, ve které probíhalo měření mé bakalářské práce, je předním producentem špičkových průmyslových výrobků, komponentů a technologických řešení dělaných na zakázku v oblasti strojího průmyslu, dopravě a energetice. ITT je společnost, která se v podstatě skládá z více poboček, které působí v několika zemích po celém světě a vyrábějí různé výrobky jako např. kalová čerpadla, viskózní tlumiče, membránové ventily či automobilové brzdové destičky. A právě automobilové brzdové destičky se vyrábějí v Ostravě, kde má společnost jedno ze svých sídel. Tyto destičky jsou velmi výkonným a kvalitním produktem, u kterých se také aplikuje inovativní výzkum v oblasti nových třecích materiálů a technologií, které mají splňovat požadavky koncových zákazníků.

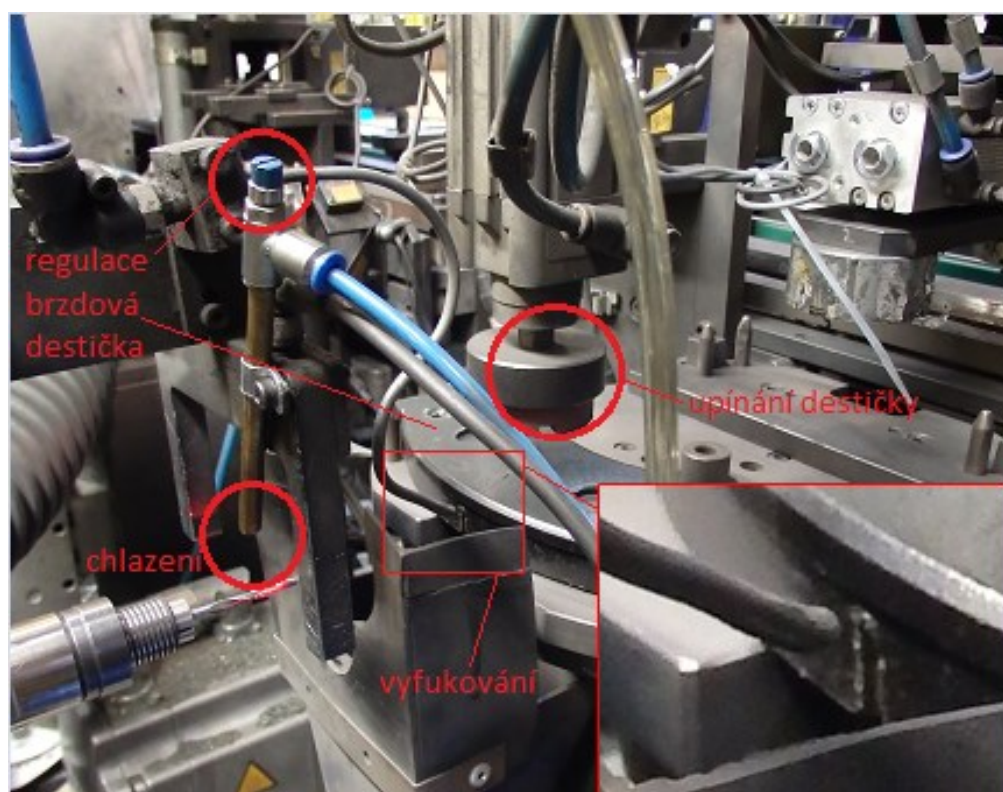
Měření spotřeby vzduchu probíhalo na stroji zvaném „Finishing“, kde probíhají dokončovací práce na destičkách jako je nýtování, potisk, montáž protihlukové vrstvy, měření či vrtání. Tyto operace se však neprovádějí u všech typů destiček. U vrtaných destiček se do otvoru následně umísťuje čidlo opotřebení, což je vidět na obrázku 3.1.1.



Obr. 3.1.1 Brzdové destičky [8]

U stroje „Finishing“ jsem se však zaměřil pouze na operaci vrtání, kde jsem měřil spotřebu vzduchu při vyfukování třísek a chlazení vrtáku. Další měření probíhala u CNC vrtačky, kde jsem už měřil pouze spotřebu vzduchu při vyfukování třísek.

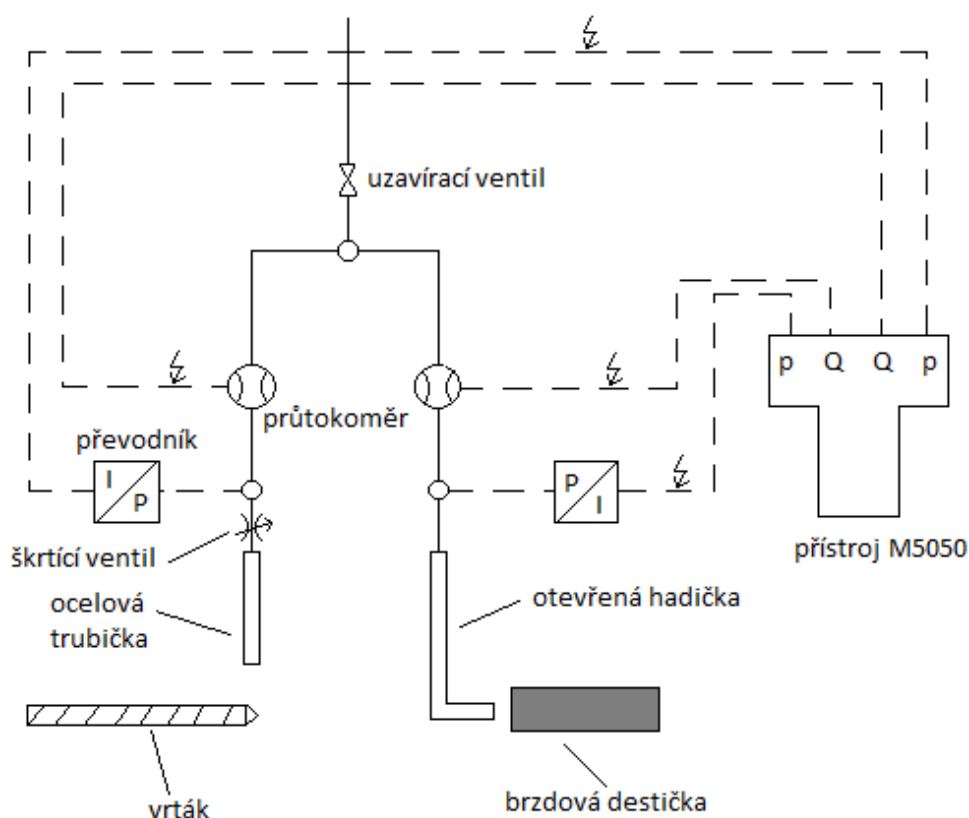
Vrtání probíhá tak, že po páse jsou dovezeny brzdové destičky, které jsou poté jednotlivě pneumatickými kleštěmi přesunuty do prostoru, kde už probíhá samotné vrtání. Vrtání je uskutečněno CNC vrtačkou, jejíž vrták je neustále chlazen vzduchem, a to tak, že na konec hadičky je nasazena ocelová trubka světlosti 3,8 mm, ze které proudí vzduch, čímž dochází k poměrně velké spotřebě vzduchu. Tento systém chlazení je možné vidět na obr. 3.1.2. Po vyvrtání díry do destičky jsou z díry vyfukovány třísky, což je řešeno otevřenou trubičkou, jejíž světlost je 1,5 mm, ze které vzduch proudí rovněž nepřetržitě. Následně je destička už s vyvrtanou dírou kleštěmi přesunuta dále, kde pokračuje k dalším dokončovacím pracím.



Obr. 3.1.2 Chlazení a vyfukování s detailním obrázkem vyfukování

3.2 Realizace měření

Měření jsem provedl tak, že jsem do obvodu zapojil snímač průtoku SD6000 od firmy ifm electronic, bližší informace o tomto snímači budou uvedeny v kapitole 4. Tento snímač byl použit jak pro měření průtoku vzduchu pro chlazení vrtáku, tak i pro měření vzduchu pro vyfukování třísek. Snímač byl vždy zapojený před koncem obvodu, tedy před samotným vyfukováním nebo chlazením.

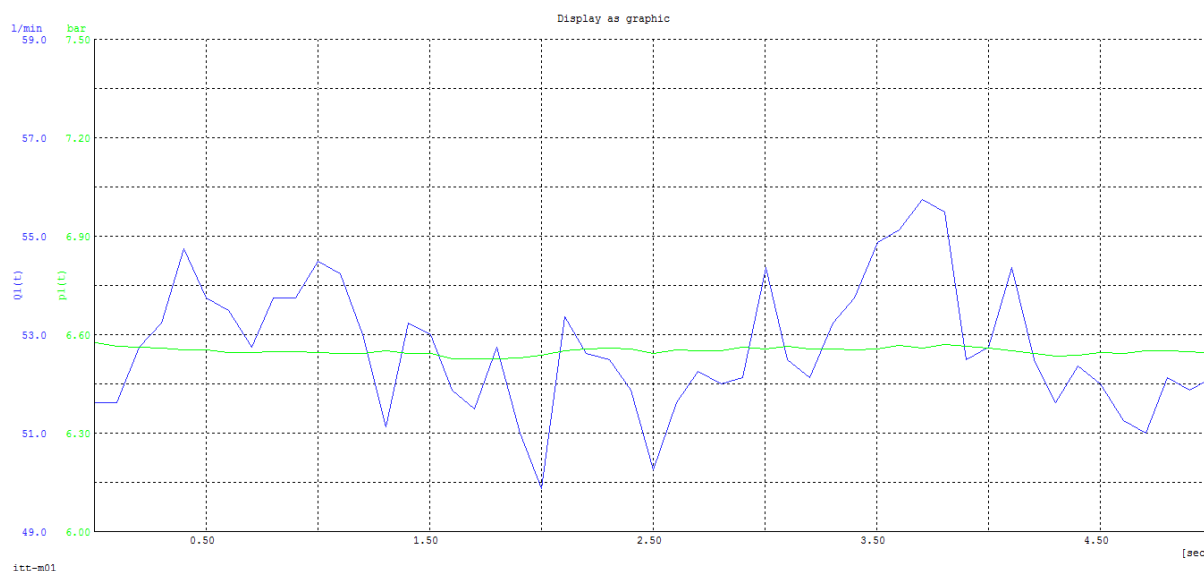


Obr. 3.2.1 Schéma obvodu z měření ve firmě

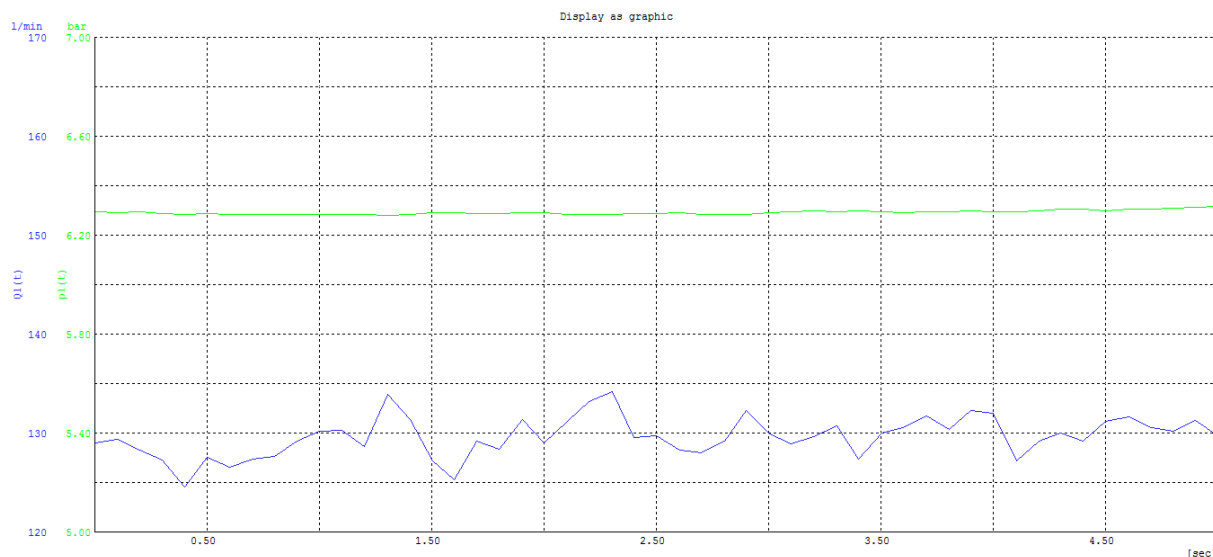
Na obrázku 3.2.1 je schéma obvodu, jehož spotřebu jsem měřil v provozu. V obvodu jsou rovněž zakresleny prvky, které jsem pro měření použil, což jsou průtokoměry, převodníky, škrticí ventil, který je pouze u chlazení vrtáku a přístroj M5050.

Měření jsem provedl dvakrát. Každé měření probíhalo po dobu pěti sekund, přičemž jsem zaznamenával měřené hodnoty co desetinu sekundy. Měřenými hodnotami byl průtok vzduchu a tlaky v jednotlivých hadičkách. Všechny tyto hodnoty jsem vyhodnocoval a ukládal pomocí zobrazovacího zařízení Multi System 5050 od firmy Hydrtotechnik. Nejprve jsem však musel toto zařízení nastavit pro dané měření. Bylo nutné nastavit nulový bod u tlakového senzoru, což se provádí tak, že se senzor úplně povolí, tzn., že není přimontovaný do obvodu, a pustí se měření naprázdno. Musel jsem nastavit výstupní signál tlakového senzoru, který byl v tomto případě proudový a to v rozsahu 4-20 mA, tlak byl měřen v rozsahu -0,1 až 0,6 MPa, průtok jsem měřil v litrech za minutu, a také bylo nutné nastavit, v jakých intervalech bude snímač požadované hodnoty zaznamenávat, což bylo v tomto případě co desetinu sekundy.

Na obrázku 3.2.2 jsou záznamy z měření ve firmě, které jsem poté zpracoval pomocí programu hydrowin. První obrázek je graf z prvního měření chlazení vrátku na stroji Finishing a druhý obrázek je graf z prvního měření vyfukování třísek rovněž na stroji Finishing. Hydrowin měření vykreslil do grafů, a také vyhodnotil odchylku a střední hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 3.1.



Obr. 3.2.2 a) první měření chlazení



Obr. 3.2.2 b) první měření vyfukování

Modrá čára v grafech znázorňuje průběh průtoku a zelená čára znázorňuje průběh tlaku.

Tabulka 3.1 – naměřené hodnoty

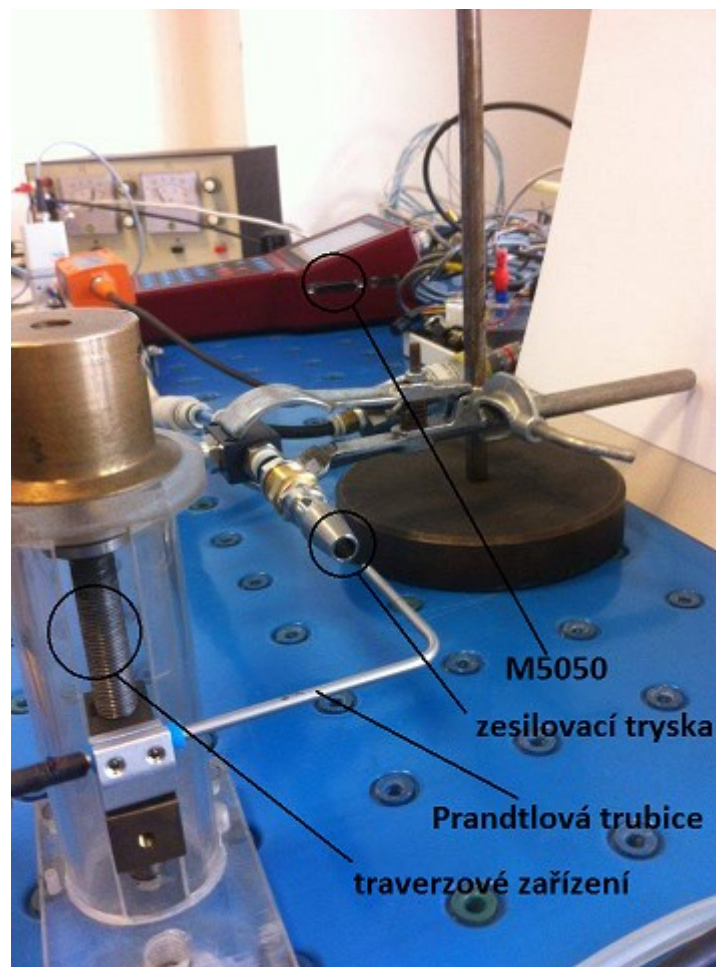
Stroj	Měření	Č. měření	Q_N	Odchylka	p	Odchylka
			$[\text{dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}]$	[%]	[MPa]	[%]
Finishing	Chlazení vrtáku	1.	52,75	1,2993	0,6551	0,0112
		2.	52,713	1,1220	0,65	0,0184
	Vyfukování třísek	1.	129,659	1,9979	0,6294	0,0079
		2.	130,502	2,2474	0,6335	0,0139
CNC vrtačka	Vyfukování třísek	1.	71,584	2,3491	0,684	0,0103
		2.	71,352	2,3649	0,6801	0,0091

V tabulce 3.1 můžeme vidět jednotlivé výsledky z měření. Naměřené hodnoty vždy z prvního a druhého měření se liší minimálně. Je zde však vidět značný rozdíl v průtoku vzduchu mezi chlazením vrtáku a vyfukováním třísek, kde u vyfukování je spotřeba mnohem větší. Hlavním důvod je zřejmě to, že u chlazení je možné průtok regulovat škrticím ventilem, kdežto u vyfukování průtok regulovat nelze. Rozdíl tlaků u jednotlivých měření je rovněž minimální.

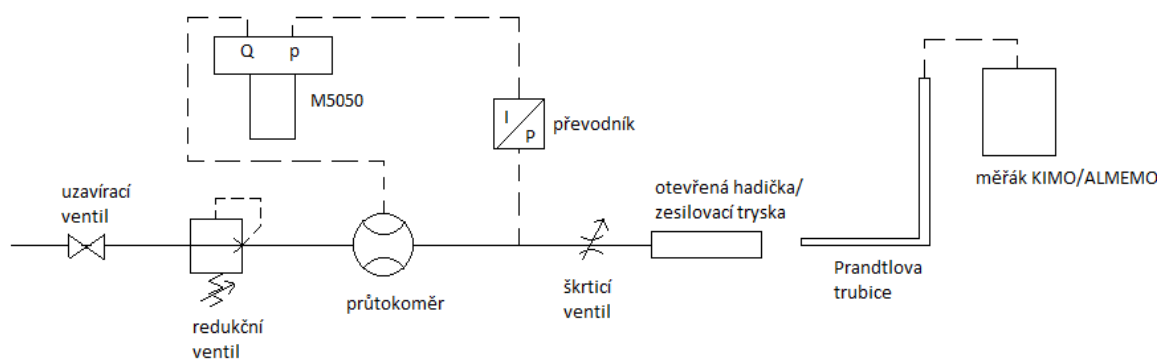
4. Měření v laboratoři

V laboratoři jsem prováděl měření, kdy jsem si nasimuloval obvod, jež byl stejný jako ve firmě, kde jsem měření již uskutečnil. Tuto trať jsem sestavil proto, abych mohl porovnat spotřebu vzduchu stávajícího způsobu ofuku se spotřebou při použití zesilovací trysky. Fotku z měření a schéma obvodu je možné vidět na obrázku 4.1 a 4.2.

Toto schéma je téměř totožné s předchozím schématem z měření ve firmě, co se prvků týče. Obsahuje průtokoměr, škrticí ventil, převodník tlaku, zobrazovací zařízení M5050 a uzavírací ventil. Přibyl zde pouze redukční ventil, abych mohl nastavit potřebný tlak a takové Prandtlova trubice spolu s měřákem KIMO a ALMEMO.



Obr. 4.1 Foto obvodu z měření v laboratoři



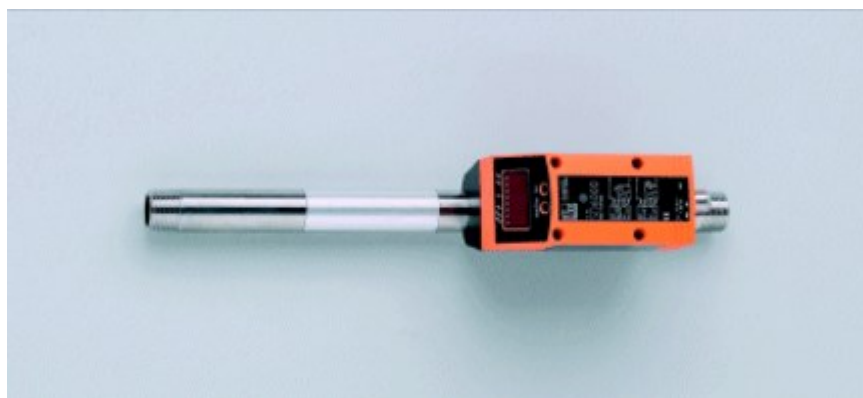
Obr. 4.2 Schéma obvodu z měření v laboratoři

Měřil jsem obvod s otevřeným koncem trubičky jako chlazení vrtáku, a také variantu, kdy byla na hadičku nasazena tryska typu KNH R02-150 od firmy SMS, což je zesilovací tryska, kterou jsem popisoval v kapitole 2.3. Tato tryska může být zároveň jedním z možných řešení pro spotřebu stlačeného vzduchu. Průměr této trysky je 1,5 mm a délka trysky je 46 mm.



Obr. 4.3 Zesilovací tryska KNH R02-150 od firmy SMC [9]

Průtok jsem měřil pomocí průtokoměru SD6000 od společnosti ifm, jehož měřicí rozsah proudění je 4 – 1250 NI/min. Průtokoměr zobrazuje hodnoty průtoku již přepočtené na normální podmínky což je tlak 101 325 Pa a teplota 15 °C. Procesní připojení je R¹/₂ (DN15), teplotní měřicí rozsah je 0 – 60 °C. Odolnost vůči tlaku až 1,6 MPa a doba odezvy je menší než 0,1 sekundy. Proudový odběr průtokoměru je 110 mA a napájecí napětí 18 – 30 V.



Obr. 4.4 Průtokoměr SD6000 od firmy ifm [10]

Dále jsem do obvodu zapojil proporcionální redukční ventil VPPE-3-1-1/8-10-010-E1, jehož měřicí rozsah je 0 – 1 MPa. Tento ventil se dá pořídit ve dvou variantách a to buď tak, že se zadávání požadované hodnoty provádí analogovým napěťovým signálem 0 – 10 V nebo analogovým proudovým signálem 4 – 20 mA. V našem případě byly hodnoty zadávány analogovým napěťovým signálem, tedy 0 – 10 V. Tento ventil sloužil k tomu, abych mohl nastavit požadovaný tlak. Nastaveno bylo 0,65 MPa dle naměřených hodnot z měření ve firmě.



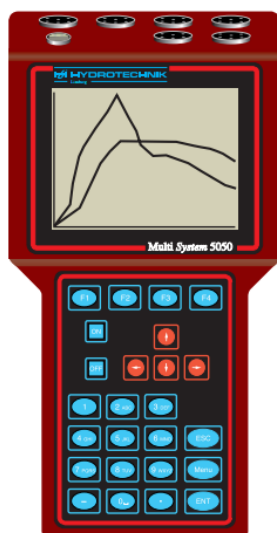
Obr. 4.5 Redukční ventil [11]

Tlak byl měřen tlakovým senzorem PR15 od firmy Hydrotechnik, jehož měřicí rozsah -0,1 až 0,6 MPa může odpovídat hodnotě výstupního signálu, která může být buď 0 – 20 mA nebo 4 – 20 mA, v našem případě to bylo 0 – 20 mA. Deklarovaná přesnost snímače je $\pm 0,3\%$ a teplotní rozsah -40 až 100 °C. Maximální přetlak je 1,5 krát nominální tlak a tlak, při kterém dojde k poškození sensoru je 3 krát hodnota nominálního tlaku.



Obr. 4.6 Tlakový senzor PR15 do firmy Hydrotechnik [12]

Jak tlak, tak i průtok byl zobrazován zařízením Multi System M5050 od firmy Hydrotechnik, stejně jako při měření ve firmě. V tomto zařízení je třeba si nastavit, jaký kanál chceme na displeji vyhodnocovat, což záleží na tom, do jakého kanálu máme přivedeny snímače průtoku či tlaku. Dále pak nastavujeme hodnoty, v jakých chceme měřit, výstupní signál, dobu měření, dobu, po které chceme zaznamenávat hodnoty a další.



Obr. 4.7 M5050 od firmy Hydrotechnik [13]

Průtok byl regulován škrticím ventilem, velikost průtoku jsem sledoval na zobrazovacím zařízení M5050. Rychlost proudění vzduchu byla vyhodnocována měřicím přístrojem KIMO-MP120 jehož měřicí rozsah rychlosti je $0 - 40 \text{ mN}\cdot\text{s}^{-1}$ a rozsah tlaku je -1000 Pa až 1000 Pa , tímto měřicím zařízením byla měřena rychlost do $40 \text{ mN}\cdot\text{s}^{-1}$, pro rychlost proudění od $40 \text{ mN}\cdot\text{s}^{-1}$ bylo použito měřicí zařízení ALMEMO 2290-3. K oběma měřákům byla připojena Prandtlova trubice TPL-03-100, která rychlost proudění snímala.



Obr. 4.8 Měřicí zařízení KIMO-MP120 [14]

Prandtlova trubice funguje tak, že měřené médium, což může být vzduch i tekutina, proudí vstupním otvorem, které je tvořeno sondou se zaobleným čelem a v tomto místě je měřen celkový tlak. Na boku je pak otvor, kterým se měří statický tlak. Z této změřené difference se vypočítá rychlost proudění. Rychlost jsem měřil proto, abych zjistil, v jaké vzdálenosti může otevřená hadička, popřípadě regulační zesilovací tryska být, aby byl efekt chlazení nebo vyfukování co největší.



Obr. 4.9 Prandtlůva trubice [15]

Nejprve jsem měřil situaci, kdy na konci obvodu byla otevřená trubička. Měření neprobíhalo přímo na trubičce, kterou byl vrták chlazen v provozu, ale byla to trubička, která měla stejnou světlost a to 3,8 mm. Nastavil jsem parametry tak, aby se shodovaly s parametry při měření ve firmě. Průtok byl nastaven na $52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$, vzdálenost konce hadičky od Prandtlůvy trubice, kterou jsem měřil rychlost proudění, byla 24 mm. Trubice byla uchycena do držáku, pomocí kterého jsem Prandtlůvu trubici posunoval postupně vždy o 1 mm směrem nahoru od osy trubičky a zapisoval rychlost proudění. Tím jsem zjišťoval, rozsah proudového pole. Při druhém měření byl průtok stejný, vzdálenost konce hadičky od trubice však byla 35 mm. Výsledky jsem zaznamenal do tabulky a vyhodnotil v grafu.

V další části měření byla na konci obvodu zesilovací tryska. Parametry byly v prvním měření nastaveny stejně, tzn., že průtok byl nastaven na $52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$, vzdálenost už byla nastavena na 35 mm, protože ve vzdálenosti 24 mm nebyl přístroj schopen změřit rychlost proudění, hodnoty zaznamenával až od určitého posunutí Prandtlůvy trubice v držáku, kterou byla rychlost opět snímána. Při druhém měření jsem průtok snížil na polovinu, tedy na $25 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$, vzdálenost byla rovněž 35 mm. Výsledky jsem opět zapsal do tabulky, vypočítal pomocí programu Excel a vyhodnotil v grafu.

Měřil jsem také situace, kdy na konci obvodu byla malá trubička, jejíž vnitřní světlost byla 1,5 mm, jako při měření ve firmě (vyfukování třísek). Tyto hodnoty se mi však nepodařilo naměřit, protože rychlost zde dosahovala hodnot vyšších než $100 \text{ mN} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabulky naměřených hodnot z měření v laboratoři a příklad výpočtu:

Průtok volného proudu vzduchu jsem vypočítal z posunu a naměřené rychlosti, zde jsem uvedl první dva příklady výpočtu, další výpočty probíhaly totožně:

$$Q = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot \pi \cdot (r_1^2 - r_0^2) = \frac{63,7 + 60,5}{2} \cdot \pi \cdot (0,01^2 - 0^2) =$$

$$= 0,000195093 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,195093 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q = \frac{v_2 + v_3}{2} \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2) = \frac{60,50 + 49}{2} \cdot \pi \cdot (0,02^2 - 0,01^2) =$$

$$= 0,000687009 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,687009 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Tabulka 4.1 – naměřené hodnoty při měření trubičky

Trubička, spotřeba vzduchu (vstup), $Q=52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$, $L=24 \text{ mm}$			Trubička, spotřeba vzduchu (vstup), $Q=52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$, $L=35 \text{ mm}$		
Poloměr - r	Rychlost - v	Vypočtený průtok – Q_N	Poloměr - r	Rychlost - v	Vypočtený průtok – Q_N
[mm]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	[mm]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
0	63,7	0,195093	0	48	0,149069
1	60,5	0,687009	1	46,9	0,553177
2	49	1,192004	2	41,3	1,04215
3	35,6	1,486398	3	32,7	1,408487
4	23,9	1,511599	4	23,7	1,582285
5	15	1,428301	5	17	1,513124
6	10,7	0,903022	6	10,2	1,15702
7	1,5	0,101796	7	5,3	0,765301
8	0	0	8	2,8	0,292257
			9	0	0
Celkový průtok		7,505222	Celkový průtok		8,462868

V této tabulce jsou hodnoty z první části měření, resp. první a druhé měření, kdy jsem měřil obvod s otevřenou trubičkou. Průtok, který proudil obvodem, byl v obou případech stejný, měnila se pouze vzdálenost konce hadice od Prandtlovy trubice. Je vidět, že rychlost průtoku měřená ve vzdálenosti 35 mm je od počátku o něco menší, než rychlost měřena ve vzdálenosti 24 mm. Postupně se však rychlost vyrovnává a zhruba od čtyřmilimetrového posunu už je rychlost téměř stejná. Průtok měřený na výstupu zpočátku roste a od určitého bodu se snižuje.

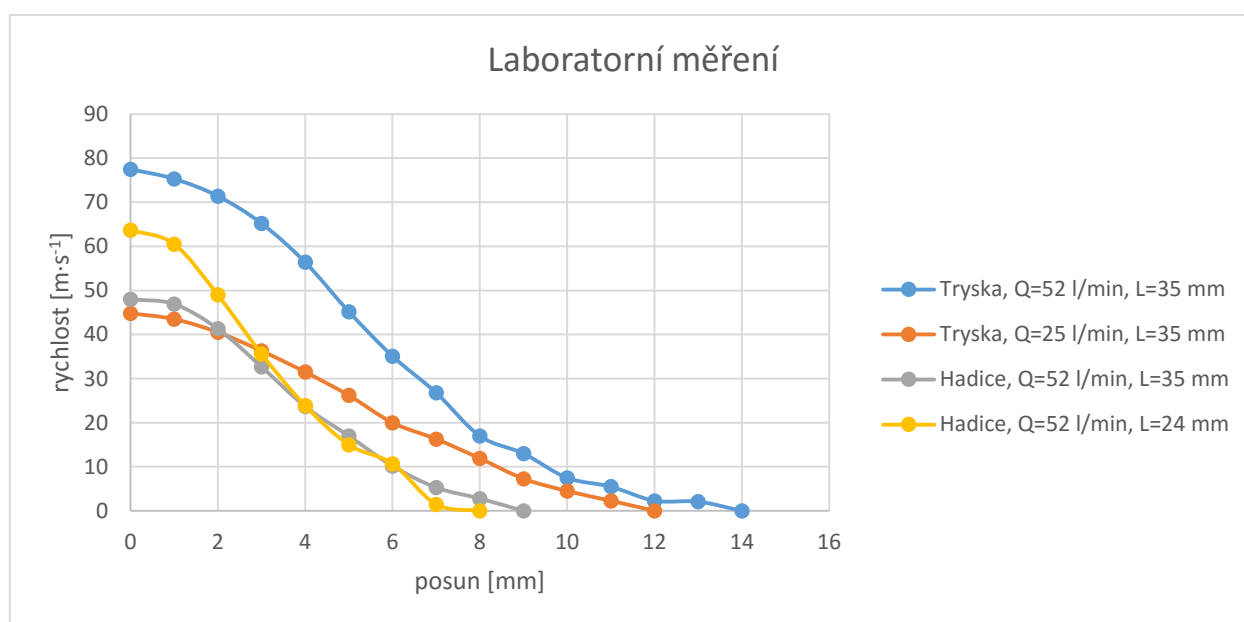
Tabulka 4.2 – naměřené hodnoty při měření trysky

Tryska, spotřeba vzduchu (vstup), $Q_N=52 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, $L=35 \text{ mm}$			Tryska, spotřeba vzduchu (vstup), $Q_N=25 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, $L=35 \text{ mm}$		
Poloměr - r	Rychlost - v	Vypočtený průtok – Q_N	Poloměr - r	Rychlost - v	Vypočtený průtok – Q_N
[mm]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	[mm]	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
0	77,5	0,240018	0	44,8	0,138701
1	75,3	0,920743	1	43,5	0,526788
2	71,4	1,927137	2	40,5	1,081734
3	65,2	3,047141	3	36,3	1,695
4	56,4	3,973823	4	31,5	2,249874
5	45,2	4,515858	5	26,2	2,587548
6	35,1	4,728382	6	20	2,757975
7	26,8	4,354256	7	16,3	2,785973
8	17	3,753035	8	11,9	2,378902
9	13	3,139132	9	7,3	1,77254
10	7,5	2,370863	10	4,5	1,192451
11	5,5	1,643318	11	2,3	0,399248
12	2,3	1,024044	12	0	0
13	2,1	0,47754			
14	0	0			
Celkový průtok		36,115291	Celkový průtok		19,566735

Tato tabulka obsahuje naměřené hodnoty z druhé části měření, tedy první a druhé měření se zesilovací tryskou. Při těchto měřeních byla vzdálenost Prandtlovy trubice od trysky v obou případech 35 mm, ale měnil se průtok, který byl nastavován pro obvod. V prvním případě se průtok shodoval s průtokem, jaký byl při měření ve firmě, tedy

$52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a v druhém případě jsem průtok snížil zhruba o polovinu. Můžeme vidět, že zde je rozdíl v rychlostech stále patrný, na rozdíl od měření s hadicí, kde se rychlost postupným posunem téměř srovnávala. Stejně jako u měření s otevřenou trubičkou, tak i při měření trysky se průtok měřený na výstupu nejprve roste a poté se začne snižovat.

Graf naměřených hodnot z předchozích dvou tabulek:



Obr. 4.5 Graf naměřených hodnot z laboratorního měření

Jak z předchozích tabulek, tak z grafu je zřejmé, že tryska při plném průtoku ve větší vzdálenosti má mnohem větší poloměr dosahu proudění vzduchu při posunu oproti otevřené hadici, a hlavně má značně větší rychlosti, což už je jistý efektivnější způsob vyfukování nebo chlazení, ale při stejné spotřebě vzduchu. Naproti tomu tryska při polovičním průtoku ve větší vzdálenosti dosahuje z počátku o něco menší rychlosti než otevřená hadice při plném průtoku v menší vzdálenosti, ale od určitého posunu už dosahuje dokonce větší rychlosti a ve srovnání s otevřenou trubičkou ve větší vzdálenosti jsou počáteční rozdíly rychlostí minimální a při postupném posunu se rozsah proudění trysky značně zvyšuje. Když to shrnu, tak se zesilovací tryskou při polovičním průtokem

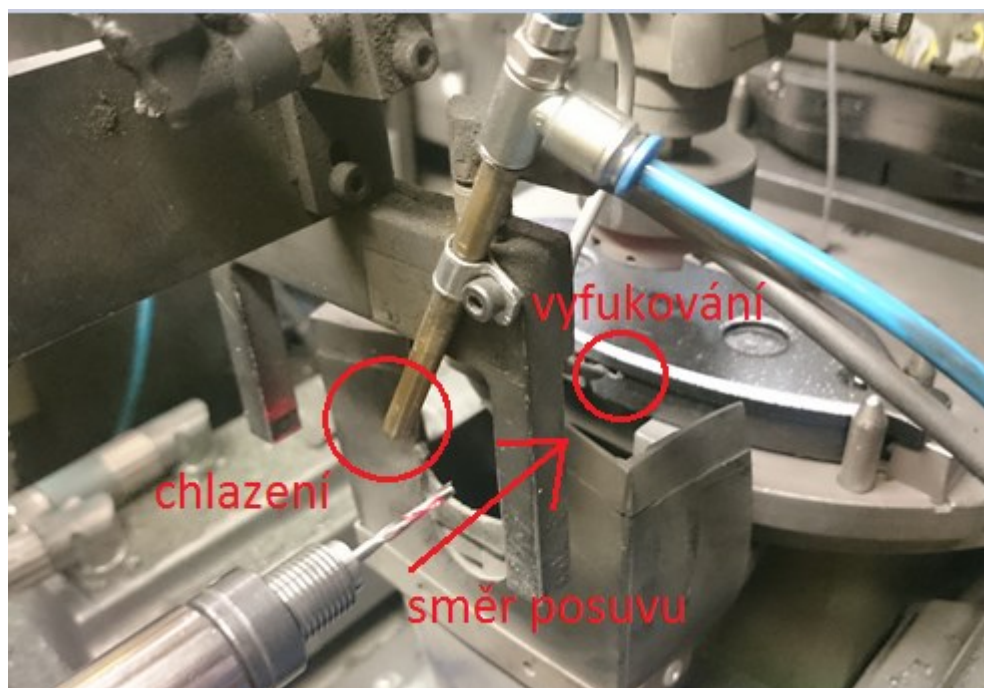
(oranžová křivka) dosáhneme v podstatě stejného výkonu pro vyfukování a chlazení jako s otevřenou hadičkou při plném průtoku (šedá křivka), což už je značná úspora stlačeného vzduchu. Výpočet úspory bude náplní další kapitoly.

5. Porovnání spotřeby vzduchu a výpočet úspor

5.1 Výpočet spotřeby vzduchu při současném stavu

Cena stlačeného vzduchu je různá. Například společnost Festo udává v jedné ze svých podkladů [16] cenu 0,4 Kč za 1 Nm³, což je 0,4 Kč za 1000 dm³. V jiných podkladech [17] zase uvádí cenu 0,02 Euro za 1 Nm³, což při kurzu 27 Kč odpovídá ceně 0,54 Kč. Cena stlačeného vzduchu je ovlivněna několika faktory, tím hlavním je typ kompresoru, se kterým je spojena pořizovací cena a náklady na údržbu. Dalším významným faktorem je cena energie, jelikož většinu nákladů během cyklu kompresoru tvoří právě energie. Dále pak je cena stlačeného vzduchu ovlivněna regulací kompresoru nebo úpravou vzduchu. Pro následující výpočty volím cenu 0,5 Kč za 1 Nm³.

Před samotným výpočtem spotřeby a možných úspor je nutné nadefinovat stávající stav a funkci zařízení, tedy Finishingu, který byl představen v kapitole 3.1. Současný stav u chlazení vrtáku je takový, že vzduch fouká nepřetržitě, přičemž samotná doba cyklu vrtání trvá 4,5÷6 sekundy. Tato doba závisí na otupění nástroje, čím tupější nástroj, tím déle vrtání trvá. Pokud cyklus trvá déle než 6 sekund, pak dochází k výměně nástroje, jelikož výměna vyjde levněji než snížení produktivity linky. Přisunutí nástroje trvá 0,5 sekundy, vrtání 3,5÷5 sekund, záleží na otupění nástroje a odsunutí trvá 0,5 sekundy. To znamená, že po dobu vrtání 3,5÷5 sekund, kdy je nástroj mimo proud vzduchu, dochází ke zbytečné spotřebě vzduchu. Vrták je chlazen pouze v době přísuvu a odsunu nástroje, tedy 1 sekundu, takže by stačilo, aby vzduch foukal pouze po dobu sekundy.



Obr. 5.1.1 chlazení vrtáku

Na obr. 5.1.1 je naznačen směr posuvu při vrátání, je zde vidět, že když dojde k posuvu, pak vzduch fouká pouze na vřeteno, tudíž dochází ke ztrátám.

U vyfukování třísek proudí vzduch také nepřetržitě, ale k vyfukování dochází pouze při odsunutí nástroje a to do doby, než dá vrtačka signál, že je v koncové poloze. V tuto chvíli zároveň dojde k posunutí destičky. To znamená, že vyfukování probíhá 0,5 sekundy a zbylý čas operace, což je $4 \div 5,5$ sekund, proudí vzduch zbytečně. Dále je také nutné zmínit, že k vrtání děr pro čidlo opotřebení na tomto stroji dochází pouze ve 20 procentech typu destiček a u zbylých 80 procent vzduch opět uniká zbytečně. Z čehož také plyne, že není-li do destičky vyvrtávána díra, pak dochází k neustálému chlazení vrátku, což je dle mého názoru zbytečné a opět se ztráty navyšují. Obě tyto operace, chlazení a vyfukování, jsem dále vyjádřil číselně a graficky.

Ve firmě, ve které jsem měření prováděl, je provoz nepřetržitý, takže stroje pracují 24 hodin denně 365 dní v roce. Za takových podmínek je roční spotřeba stlačeného vzduchu pro chlazení, kde je průtok $52 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ zhruba 27 331 200 litrů, což je 13 666 Kč za rok. U vyfukování, kde je průtok $130 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, je spotřeba vzduchu mnohem větší a tím pádem také cena. Spotřeba vzduchu je $68\,328\,000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a cena stlačeného vzduchu za rok je při tomto vyšším průtoku 34 164 Kč. Tyto výsledky jsem zaznamenal v tabulce 5.1.

Výpočty:

Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu při chlazení, to je při průtoku $52 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$

- Náklady na spotřebu vzduchu za hodinu

$$N_h = 52 \cdot 60 = 3120 \text{ dm}_N^3 \text{ za hodinu}$$

- Náklady na spotřebu vzduchu za den

$$N_d = 3120 \cdot 24 = 74\,880 \text{ dm}_N^3 \text{ za den}$$

- Náklady na spotřebu vzduchu za rok

$$N_r = 74\,880 \cdot 365 = 27\,331\,200 \text{ dm}_N^3 \text{ za rok}$$

- Cena za spotřebu stlačeného vzduchu při ceně 0,5 Kč za 1000 dm_N^3

$$n = \frac{27\,331\,200}{1000} \cdot 0,5 = 13\,666 \text{ Kč za rok}$$

Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu při vyfukování, to je při průtoku $130 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$

- Náklady na spotřebu vzduchu za hodinu

$$N_h = 130 \cdot 60 = 7800 \text{ dm}_N^3 \text{ za hodinu}$$

- Náklady na spotřebu vzduchu za den

$$N_d = 7800 \cdot 24 = 187\,200 \text{ dm}_N^3 \text{ za den}$$

- Náklady na spotřebu vzduchu za rok

$$N_r = 187\,200 \cdot 365 = 68\,328\,000 \text{ dm}_N^3 \text{ za rok}$$

- Cena za spotřebu stlačeného vzduchu při ceně 0,5 Kč za 1000 dm_N^3

$$n = \frac{68\,328\,000}{1000} \cdot 0,5 = 34\,164 \text{ Kč za rok}$$

Všechny tyto výpočty jsem zaznamenal do následující tabulky:

Tabulka 5.1.1 – spotřeba stlačeného vzduchu

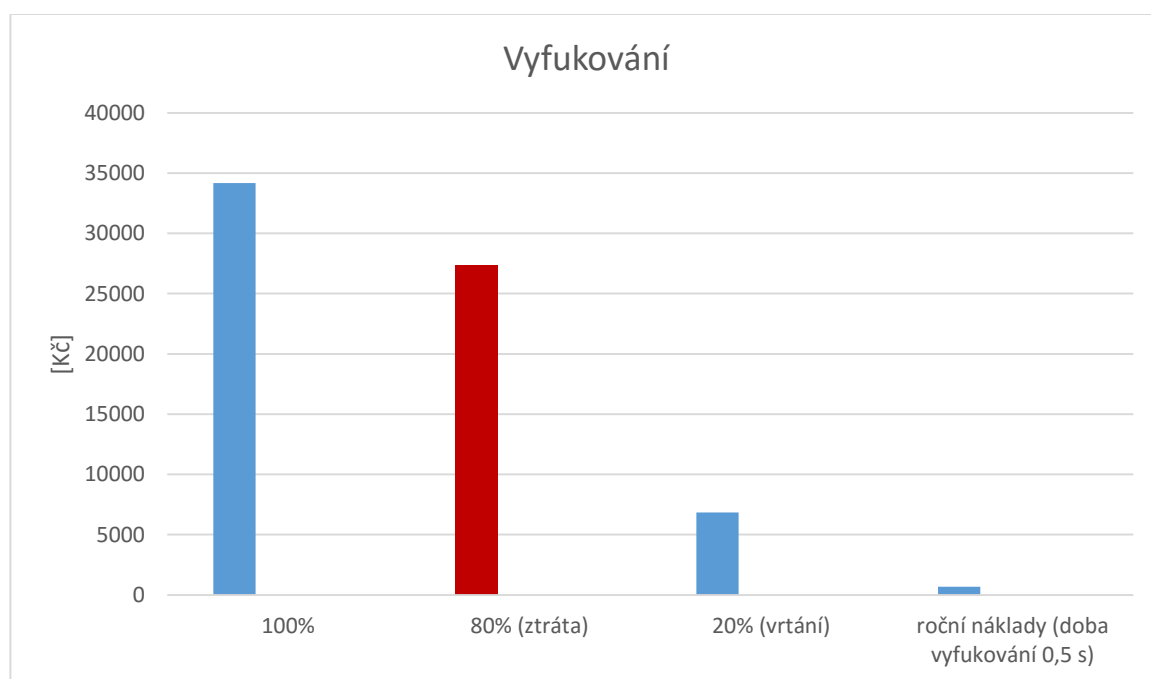
Operace	Průtok - Q_N [dm ³ ·min ⁻¹]	Náklady - N [Kč]	
		Za den	Za rok
Chlazení	52	37	13 666
Vyfukování	130	94	34 164
Suma	182	131	47 830

Když se vrátím zpětně, kdy jsem zmiňoval, že k vyvrtávání děr pro čidlo dochází pouze ve 20 procentech případů, pak si nyní můžu snadno vypočítat, jaká je při vyfukování ztráta. Jestliže je roční spotřeba při vyfukování vyčíslena na 34 164 Kč, pak 80 procent této částky je roční ztráta. Takže 27 331 Kč je ztráta při vyfukování v době, kdy nedochází k vrtání. Tato ztráta je ještě o něco větší, když k tomu připočítám fakt, že z těch 20 procent, kdy k vyvrtání díry dochází, je samotná doba vyfukování pouze 0,5 sekundy, než se vrtačka dostane do koncové polohy a vyšle signál, aby byla destička přesunuta. Zbylá částka 6833 Kč je částka, která odpovídá spotřebě vzduchu v těch případech, kdy dochází k vrtání děr. Ovšem tato částka ještě pořád neodpovídá samotnému vyfukování, jelikož celý cyklus vrtání trvá 4,5÷6 sekundy a vyfukování díry po vyvrtání trvá pouze 0,5 sekundy.

Pokud by vzduch u vyfukování foukal jen v době vrátní, pak by částka za dobu tohoto cyklu byla 0,0048÷0,0065 Kč, já budu počítat, že průměrná doba cyklu vrátní je 5 sekund, takže cena za dobu toho cyklu při vyfukování je 0,0054 Kč. V případě, že by vzduch vyfukoval jen v době, kdy k vyfukování opravdu dochází, to znamená v době, kdy se vrták vrací do koncové polohy po dobu 0,5 sekundy, pak by tato doba odpovídala ceně 0,00054 Kč, což je desetina ceny při stálém vyfukování a to už je značná úspora. Roční náklady by tak činily 683,3 Kč. Tyto vypočtené částky jsem dále zpracoval ve formě tabulky a grafu.

Tabulka 5.1.2 – spotřeba vzduchu při vyfukování vyjádřena v penězích

Vyfukování	
Roční náklady na spotřebu (100%) [Kč]	34 164
80% ročních nákladů na spotřebu (ztráta) [Kč]	27 331
20% ročních nákladů na spotřebu (dochází k vrtání) [Kč]	6833
Roční náklady – vyfukování po dobu 0,5 s	683,3
Náklady na dobu cyklu vrátní (5 sekund) [Kč]	0,0054
Samotná doba vyfukování (0,5 sekundy) [Kč]	0,00054



Obr. 5.1.2 Graf spotřeby vzduchu při vyfukování vyjádřené v penězích

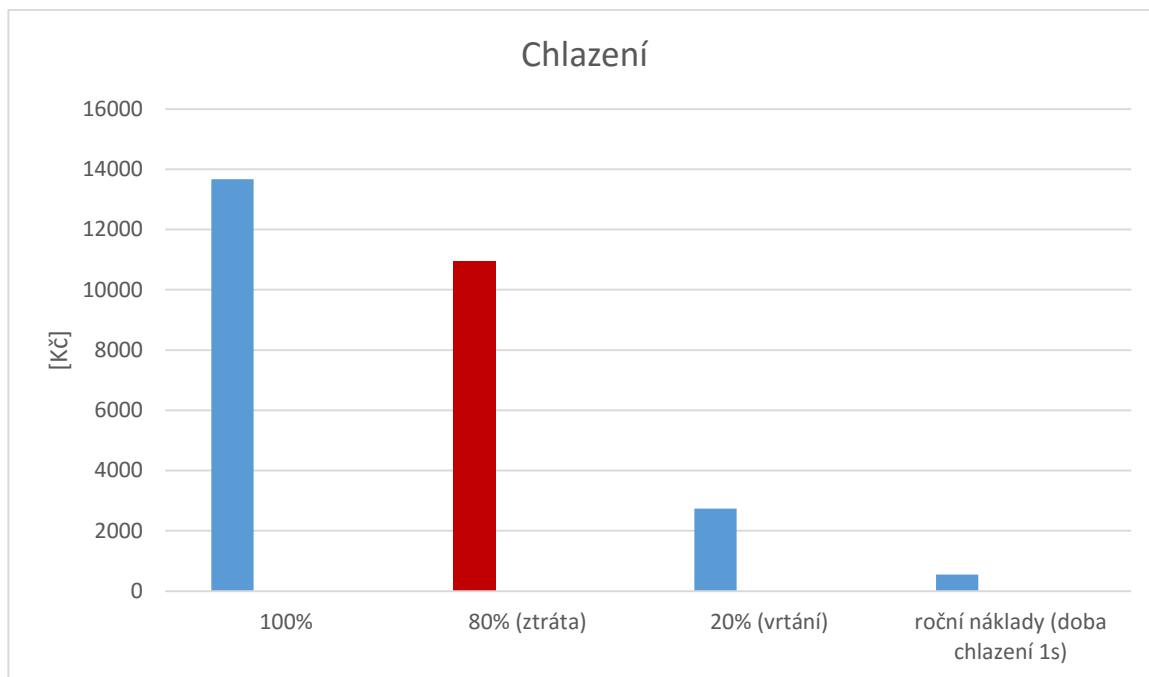
U chlazení platí to samé jako u vyfukování, že z 80 procent zde vzduch fouká zbytečně, protože chlazení i vyfukování je závislé na tom, zda se do dané destičky vyvrtává díra. Roční spotřeba při chlazení je 13 666 Kč, čili 80 procentní ztráta činí 10 933 Kč a zbylých 20 procent je 2733 Kč, tedy částka za chlazení, když dochází k vrtání díry pro čidlo opotřebení.

Jestliže u chlazení trvá celkový cyklus $4,5 \div 6$ sekundy a vrták je chlazen pouze v době přisouvání a odsouvání, nebo pak celou dobu, není-li do destičky vyvrtávána díra, dochází rovněž ke zbytečným ztrátám. Celková doba tohoto cyklu, tedy za dobu $4,5 \div 6$ sekundy, vyjádřena v penězích je $0,0019 \div 0,0026$ Kč. Budu opět počítat průměrnou dobu cyklu 5 sekund, to znamená, že jestliže je vrták chlazen pouze v době přisunutí a odsunutí, dají se zde ušetřit čtyři pětiny ceny. Cena za 5 sekundovou dobu cyklu je 0,0021 Kč. Pokud by vzduch foukal jen v době, kdy je vrták chlazen, tedy po dobu 1 sekundy, byla by tato částka 0,00042 Kč a roční náklady na chlazení by byly 546,6 Kč, tedy pětina ročních nákladů za celý cyklus.

Tyto vypočtené hodnoty jsem taktéž zaznamenal ve formě tabulky a grafu.

Tabulka 5.1.3 – spotřeba vzduchu při chlazení vyjádřena v penězích

Chlazení	
Roční náklady na spotřebu (100%) [Kč]	13 666
80% ročních nákladů na spotřebu (ztráta) [Kč]	10 933
20% ročních nákladů na spotřebu (dochází k vrtání) [Kč]	2733
Roční náklady – chlazení po dobu 1 s	546,6
Náklady na dobu cyklu vrátní (5 sekund) [Kč]	0,0021
Samotná doba chlazení (1 sekunda) [Kč]	0,00042



Obr. 5.1.3 Graf spotřeby vzduchu při chlazení vyjádřené v penězích

5.2 Výpočet spotřeby vzduchu se zesilovací tryskou a polovičním průtokem

V další části této kapitoly se budu zabývat výpočtem spotřeby a úspor v případě, že by byla namontována na konec obvodu u chlazení zesilovací trysky, jelikož jsem mohl porovnat reálný stav s naměřeným stavem v laboratoři.

Za předpokladu, že bude průtok $52 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a průměrná doba cyklu bude opět 5 sekund, tak se cenová hodnota spotřeby nějak nezmění. Ale efekt při chlazení zde bude mnohem větší. Značná úspora nastane v případě, že bude na konec obvodu zapojena zesilovací tryska místo trubičky a průtok bude poloviční. Tedy průtok bude snížen na $25 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a doba cyklu bude 5 sekund. Už z toho, že by byl průtok snížen na polovinu, logicky vyplývá, že cena bude také zhruba o polovinu nižší. Cena cyklu by v tomto případě byla 0,0010 Kč. A samotná doba chlazení, tedy 1 sekunda, by pak stála 0,0002 Kč. A také by bylo dosaženo stejného efektu jako při plném průtoku.

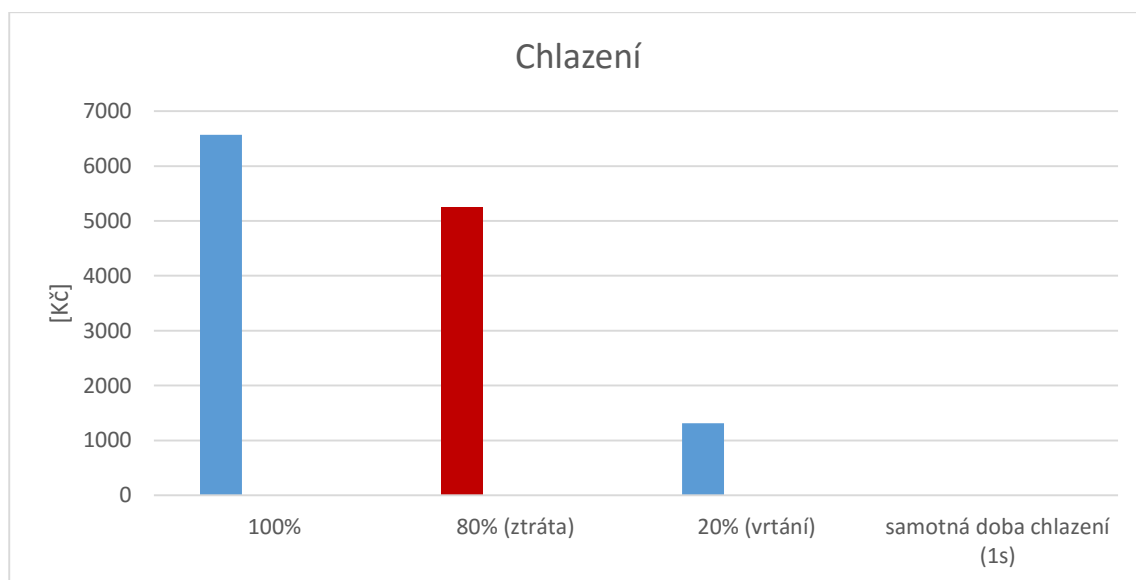
Roční spotřeba při polovičním průtoku by byla 6570 Kč, tedy rovněž o polovinu menší. Ztráta, která by činila opět 80 procent, by byla 5256 Kč, což je přijatelnější částka než

částka při plném průtoku. Zbýlých 20 procent odpovídá době, kdy k vrátní dochází, stejně jako v předchozích výpočtech.

Cena jedné zesilovací trysky, kterou jsem použil, je zhruba 1380 Kč, záleží na dodavateli. Pokud bych teda počítal s touto cenou, pak by návratnost za pořizovací cenu této trysky byla přibližně za 72 dnů. Tyto hodnoty jsem zaznamenal do tabulky a grafu.

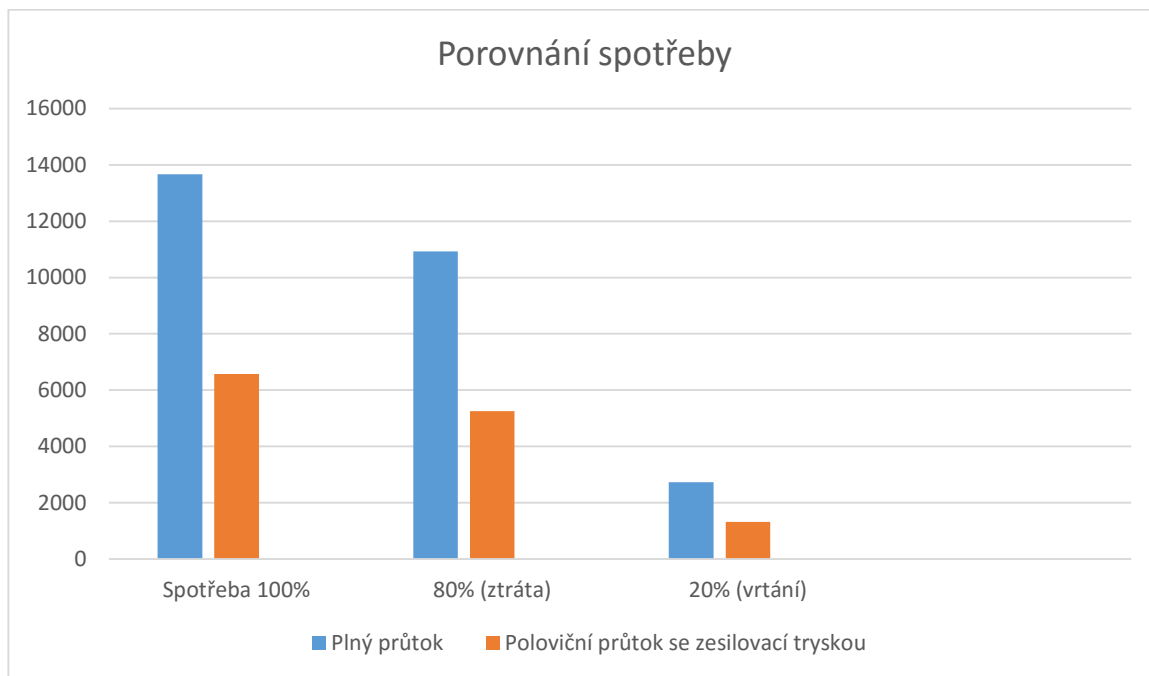
Tabulka 5.2.1 – spotřeba vzduchu se zesilovací tryskou a polovičním průtokem ($25 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

Chlazení	
Roční spotřeba (100%) [Kč]	6570
80% roční spotřeby (ztráta) [Kč]	5256
20% roční spotřeby (doba, kdy dochází k vrtání díry pro čidlo) [Kč]	1314
Doba cyklu vrátní (5 sekund) [Kč]	0,0010
Samotná doba chlazení (1 sekunda) [Kč]	0,0002



Obr. 5.2.1 graf spotřeby vzduchu se zesilovací tryskou a polovičním průtokem ($25 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

V dalším grafu jsem porovnal spotřebu vzduchu při plném průtoku bez zesilovací trysky a spotřebu vzduchu při polovičním průtoku se zesilovací tryskou.



Obr. 5.2.2 graf srovnání spotřeby vzduchu při plném a polovičním průtoku

V grafu na obr. 5.2.2 jsou pěkně vidět rozdíly ve spotřebě vzduchu mezi plným průtokem a polovičním průtokem se zesilovací tryskou.

Na závěr této kapitoly bych zmínil to, že vhodným způsobem ke snížení spotřeby vzduchu by bylo především vzduch vypínat minimálně na dobu, kdy nedochází k vyvrtávání díry pro čidlo opotřebení, což je 80 procent typů destiček. V lepším případě pak i na dobu, kdy dochází přímo k vrtní a vzduch, který má chladit vrták fouká většinu času cyklu na vřeteno a vzduch, který má vyfukovat třísky nevyfukuje nic. Druhá možnost je použití zesilovací trysky, kde by se dala snížit spotřeba tak, že by se snížil průtok na polovinu a návratnost by trvala něco přes dva měsíce. Nicméně stále by docházelo ke ztrátám, jelikož by vzduch foukal nepřetržitě. Nejlepším řešením by tedy bylo vzduch vypínat, protože tím se ušetří velká část peněz.

6. Závěr

V této bakalářské práci bylo mým úkolem zaměřit se na možnosti snížení spotřeby stlačeného vzduchu při tlakovém čištění výrobků. V úvodu jsem naznačil jaké má stlačený vzduchu využití a kde všude se používá.

V druhé kapitole jsem specifičtěji popsal princip a vlastnosti jednotlivých trysek a vzduchových nožů. Princip a také hlavní výhodou vzduchových nožů je to, že formují vzduch buď do bodového, nebo plochého paprsku o vysoké rychlosti a silné nárazové síle. Co se trysek týče, existuje celá řada typů, které se liší především svým tvarem a způsobem použití. Pak jsem popisoval trysky, které neslouží účelům spojeným se vzduchem, ale například k nanášení barev a dalším aplikacím.

Ve třetí kapitole jsem se věnoval měření spotřeby vzduchu ve firmě. Nejprve jsem v krátkosti popsal, čím se daná firma zabývá a poté jsem popsal činnost stroje, u kterého jsem měřil. Nastínil jsem realizaci měření, včetně použitých prvků, které jsem použil a vyobrazil jsem také schéma obvodu spolu s prvky.

Čtvrtá kapitola byla zaměřena na měření v laboratoři, kde jsem si nasimuloval obvod a podmínky z měření ve firmě a poté tyto hodnoty porovnával. Nejprve jsem tedy měřil obvod, kdy byla na konci obvodu ocelová trubička stejně jako ve firmě. Poté jsem místo stávajícího způsobu použil zesilovací trysku a porovnal hodnoty naměřené bez trysky s hodnotami naměřené s tryskou. Tento obvod jsem popsal pomocí schématu a obrázku, a také jsem podrobněji popsal vlastnosti jednotlivých prvků, které jsem použil jak pro měření v laboratoři, tak pro měření ve firmě.

V páté kapitole jsem srovnával cenu stlačeného vzduchu při dané spotřebě a počítal úsporu. Vyčíslil jsem jednotlivé cykly při vrtání díry pro čidlo opotřebení, tedy chlazení a vyfukování, z čeho jsem z čehož dále vyhodnotil ztráty a částky, které odpovídají samotnému vrtání. Vypočítal jsem také spotřebu v případě, že by byla použita zesilovací tryska. Pokud by byla použita zesilovací tryska, mohl by se průtok snížit o polovinu, tedy i spotřeba by klesla o polovinu, nicméně by stále vznikaly ztráty. Největší úspory se dá však dosáhnout tím, že se bude vzduch vypínat na dobu, kdy k vrátí nedochází, čímž by se dalo ušetřit až 80 procent z celkové ceny za spotřebu.

7. Použité zdroje

- [1] SMC, *vzduchová ofukovací pistole*. Dostupné z URL:
<https://content2.smcetech.com/pdf/VMG_CZ.pdf> [cit. 2016-10-2].
- [2] Simco ION, *přehled ionizačních trysek firmy Simco ION*. Dostupné z URL:
http://www.lontech.cz/files/ionizacni_vzduchove_trysky_-_simco_nl/prehled-ionizacnich-trysek.pdf [cit. 2016-10-2].
- [3] Hennlich, *vzduchové trysky*. Dostupné z URL:
https://www.hennlich.cz/uploads/CZ_vzduchov%C3%A9.pdf [cit. 2016-10-2].
- [4] OSLANEC, Peter. *Materiálový inžinier* [online]. c2007¹¹, [cit. 2016-10-2].
<http://www.materialing.com/venturiho_dyza>.
- [5] SMC, *Air Amplifier Series ZH-X185*. Dostupné z URL:
<https://content2.smcetech.com/pdf/ZH-X185_EU.pdf> [cit. 2016-10-2].
- [6] MOS technik, *katalog produktů*. Dostupné z URL:
<<http://www.mos-pneumatics.com/download/sortiment/katalog.pdf>> [cit. 2016-10-2].
- [7] Spraying Systems Co, *sekce – K speciální trysky*. Dostupné z URL:
<<http://docplayer.cz/6519173-Sekce-k-specialni-trysky.html>> [cit. 2016-10-2].
- [8] Škoda díly, *přední brzdové destičky se signalizací opotřebení*. Dostupné z URL:
<<http://www.skoda-dily.cz/eshop/jzw698151b-predni-brzdove-desticky-se-signalizaci-opotrebeni.html>> [cit. 2016-28-4].
- [9] SMC, *vzduchová ofukovací pistole*. Dostupné z URL:
<https://content2.smcetech.com/pdf/VMG_CZ.pdf> [cit. 2016-28-4].
- [10] ifm, *měřicí systémy průtoků*. Dostupné z URL:
<https://www.ifm.com/ifmcz/web/pmain/040_030_030_060_010_010.html> [cit. 2016-28-4].
- [11] FESTO, *Proporcionálne tlakové regulačné ventily VPPE/VPPE s displejom*.
Dostupné z URL: <https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_SK/PDF/SK/VPPE_SK.PDF> [cit. 2016-28-4].

- [12] Hydrotechnik, *Sensors instruments*. Dostupné z URL: <http://www.zhongye-test.com/hydratechnik-products/hydratechnik_PR310.html> [cit. 2016-28-4].
- [13] Hydrotechnik, *Multi – Systém 5050*. Dostupné z URL: <http://www.hydrotechnik.com/fileadmin/user_upload/Manuals/Messtechnik_MultiSystem_5050_BAL_ENG.pdf> [cit. 2016-28-4].
- [14] Kimo, *Instrument > micromanometr*. Dostupné z URL: <http://www.kimo.fr/produits/1384/mp_120.html?lang=en> [cit. 2016-28-4].
- [15] ekotechnika, *Proudění, rychlost a průtok plynů*. Dostupné z URL: <<http://www.prutoky.cz/plyny/prandtlovy-trubice/>> [cit. 2016-28-4].
- [16] FESTO, *Úspory nákladů a energie*. Dostupné z URL: <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/330165/Uspory_energie.pdf> [cit. 2016-28-4].
- [17] FESTO, *Energy Saving*. Dostupné z URL: <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17423/555662_en.pdf> [cit. 2016-28-4].
- [18] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [19] Kolektiv autorů. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno, SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.